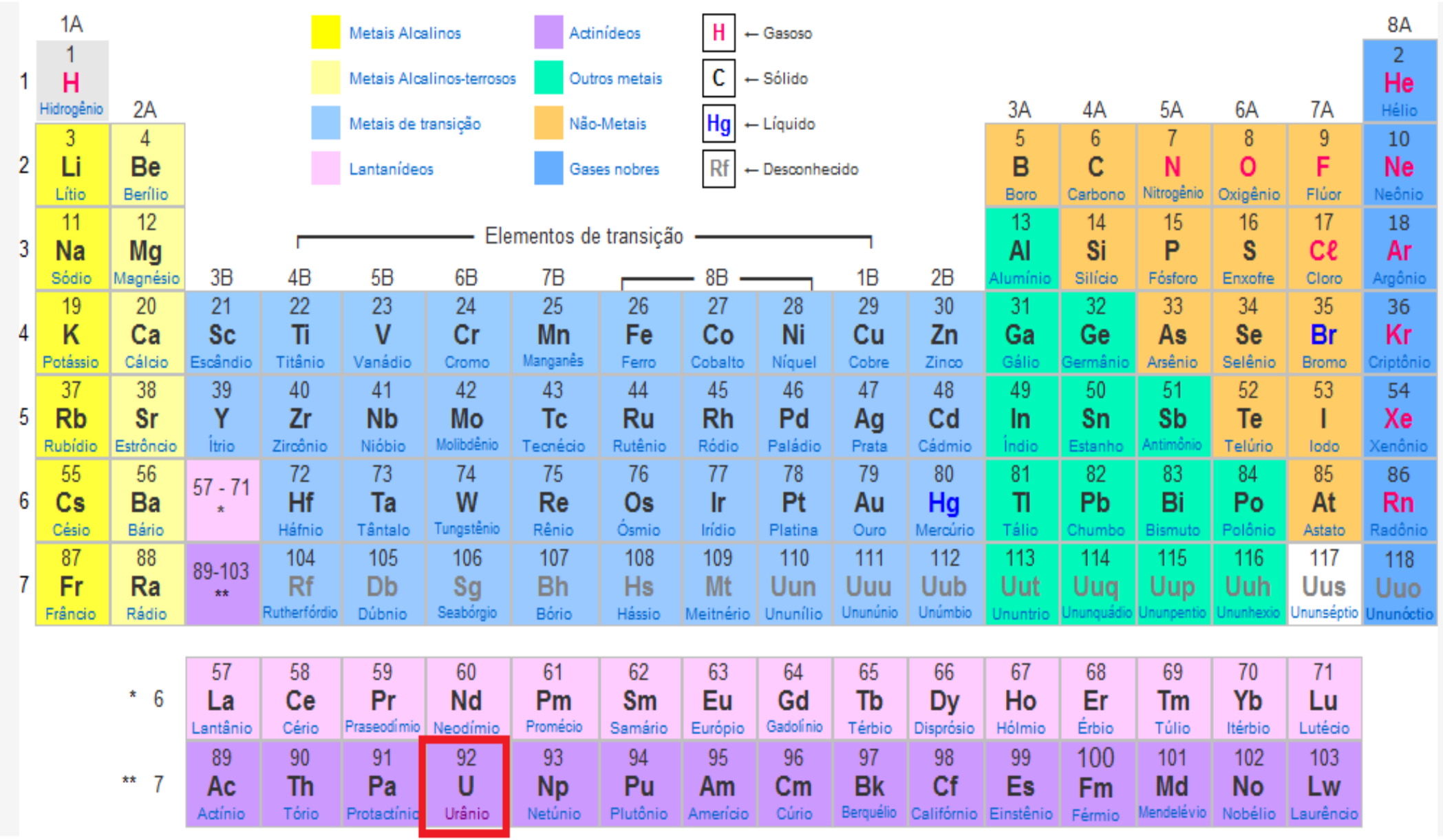
# METALURGIA DO URÂNIO

Caroline Tieme Hoshino
Gabriel
Virgínia Cruz Rangel Albuquerque e Lima

# METALURGIA DO URÂNIO

- Introdução
- Minerais e Minérios
- Combustível Nuclear
- Fissão Nuclear
- Cristalografia
- Propriedades Físicas químicas
- Propriedades Mecânicas

# Introdução


Metais Alcalinos
Metais Alcalinos-terrosos
Metais de transição
Lantanídeos
Actinídeos
Outros metais
Não-Metais
Gases nobres
H ← Gasoso
C ← Sólido
Hg ← Líquido
Rf ← Desconhecido
Elementos de transição
1A 2A 3B 4B 5B 6B 7B 8B 1B 2B 3A 4A 5A 6A 7A 8A
1 H Hidrogênio
2 He Hélio
3 Li Lítio
4 Be Berílio
5 B Boro
6 C Carbono
7 N Nitrogênio
8 O Oxigênio
9 F Flúor
10 Ne Neônio
11 Na Sódio
12 Mg Magnésio
13 Al Alumínio
14 Si Silício
15 P Fósforo
16 S Enxofre
17 Cℓ Cloro
18 Ar Argônio
19 K Potássio
20 Ca Cálcio
21 Sc Escândio
22 Ti Titânio
23 V Vanádio
24 Cr Cromo
25 Mn Manganês
26 Fe Ferro
27 Co Cobalto
28 Ni Níquel
29 Cu Cobre
30 Zn Zinco
31 Ga Gálio
32 Ge Germânio
33 As Arsênio
34 Se Selênio
35 Br Bromo
36 Kr Criptônio
37 Rb Rubídio
38 Sr Estrôncio
39 Y Ítrio
40 Zr Zircônio
41 Nb Nióbio
42 Mo Molibdênio
43 Tc Tecnécio
44 Ru Rutênio
45 Rh Ródio
46 Pd Paládio
47 Ag Prata
48 Cd Cádmio
49 In Índio
50 Sn Estanho
51 Sb Antimônio
52 Te Telúrio
53 I Iodo
54 Xe Xenônio
55 Cs Césio
56 Ba Bário
57 - 71 *
72 Hf Háfnio
73 Ta Tântalo
74 W Tungstênio
75 Re Rênio
76 Os Ósmio
77 Ir Irídio
78 Pt Platina
79 Au Ouro
80 Hg Mercúrio
81 Tl Tálio
82 Pb Chumbo
83 Bi Bismuto
84 Po Polônio
85 At Astato
86 Rn Radônio
87 Fr Frâncio
88 Ra Rádio
89-103 **
104 Rf Rutherfórdio
105 Db Dúbnio
106 Sg Seabórgio
107 Bh Bório
108 Hs Hássio
109 Mt Meitnério
110 Uun Ununílio
111 Uuu Ununúnio
112 Uub Unúmbio
113 Uut Ununtrio
114 Uuq Ununquádio
115 Uup Ununpentio
116 Uuh Ununhexio
117 Uus Ununséptio
118 Uuo Ununóctio
* 6
57 La Lantânio
58 Ce Cério
59 Pr Praseodímio
60 Nd Neodímio
61 Pm Promécio
62 Sm Samário
63 Eu Európio
64 Gd Gadolínio
65 Tb Térbio
66 Dy Disprósio
67 Ho Hólmio
68 Er Érbio
69 Tm Túlio
70 Yb Itérbio
71 Lu Lutécio
** 7
89 Ac Actínio
90 Th Tório
91 Pa Protactínio
92 U Urânio
93 Np Netúnio
94 Pu Plutônio
95 Am Amerício
96 Cm Cúrio
97 Bk Berquélio
98 Cf Califórnio
99 Es Einstênio
100 Fm Férmio
101 Md Mendelévio
102 No Nobélio
103 Lw Laurêncio

## Reservas mundiais, 2007

| País | $t\ U_3O_8$ < US$ 130 / kg U | t U < US$ 130 / kg U |
|---|---|---|
| Austrália | 1.462.000 | 1.243.000 |
| Cazaquistão | 961.000 | 817.000 |
| Rússia | 641.000 | 546.000 |
| África do Sul | 512.000 | 435.000 |
| Canadá | 497.000 | 423.000 |
| Estados Unidos | 399.000 | 342.000 |
| **Brasil** | **310.000** | **279.000** |

Fonte:Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), 2007.

## Produtores mundiais, 2007

| País | Produção em 2007 | |
|---|---|---|
| | $t\ U_3O_8$ | t U |
| Canadá | 11,148 | 9,476 |
| Austrália | 10,131 | 8,611 |
| Cazaquistão | 7,808 | 6,637 |
| Rússia | 4,015 | 3,413 |
| Níger | 2,976 | 2,530 |
| **Total Mundial** | **48,564** | **41,279** |

Fonte: World Nuclear Association -World Uranium Production, 2007.

As principias reservas brasileiras:

Bahia(Lagoa Real/Caetité)

Ceará (Santa Quitéria)

Minas Gerais(Caldas)

# Minerais e Minérios

| Mineral | Estrutura basica do mineral | porcentagem de urânio(%) |
|---|---|---|
| Pechblenda | $UO_2$, $UO_3$ + $ThO_2$, $CeO_2$ | 65-74% |
| Carnotita | $K_2$ $(UO_2)_2$ $(VO_4)_2$ · $2H_2O$ | ~50% |
| Kasolite | $PbO_2$ · $UO_3$ · $SiO_2$ · $H_2O$ | ~40% |
| Samara | (Y, Er, Ce, U, Ca, Fe, Pb, Th) · $(Nb, Ta, Ti, Sn)_2$ $O_6$ | 3.15-14% |
| Brunner | $(U, Ca, Fe, Y, Th)_3Ti_5O_{15}$ | 40% |
| Tyuyamunit | CaO · $2UO_3$ · $V_2O_5$ · $nH_2O$ | 50-60% |
| Tseynerit | $Cu(UO_2)$ $_2$ $(AsO_4)2$ · $nH_2O$ | 50-53% |
| Autunita | $Ca(UO_2)_2$ $(PO_4)$ $_2$ · $nH_2O$ | ~50% |
| Shrekingerit | $Ca_3NaUO_2(CO_3)_3SO_4(OH)$ · $9H_2O$ | 25% |
| Uranofan | CaO·$UO_2$ · $2SiO_2$ · $6H_2O$ | ~57% |
| Fergusonite | (Y, Ce)(Fe, U)(Nb, Ta)$O_4$ | 0.2-8% |
| Thorbun | $Cu(UO_2)_2(PO_4)_2$ · $nH_2O$ | ~50% |
| Caixão | $U(SiO_4)(OH)_4$ | ~50% |

Pechblenda

Torbenita

Autunita (Ca(UO2)2 (PO4)2 . NH2O
sob luz Fluorescente E sob luz UV.

Uranita $(UO)_2$

Carnotita [ $K_2( UO_2 )_2( VO_4 )_2 \cdot 3H_2O$]

# COMBUSTÍVEL NUCLEAR

- No Brasil o elemento combustível é composto de pastilhas de dióxido de urânio montadas em tubos de uma liga metálica especial, o zircaloy, formando um conjunto de varetas que tem até 5 metros de altura.
- O zircaloy-4 é uma liga de zinco com menos de 2% em peso de elemento de liga (estanho, ferro e cromo).

# CICLO DO COMBUSTÍVEL NUCLEAR

MINERAÇÃO E PRODUÇÃO DE CONCENTRADO DE $U_3O_8$

CONVERSÃO

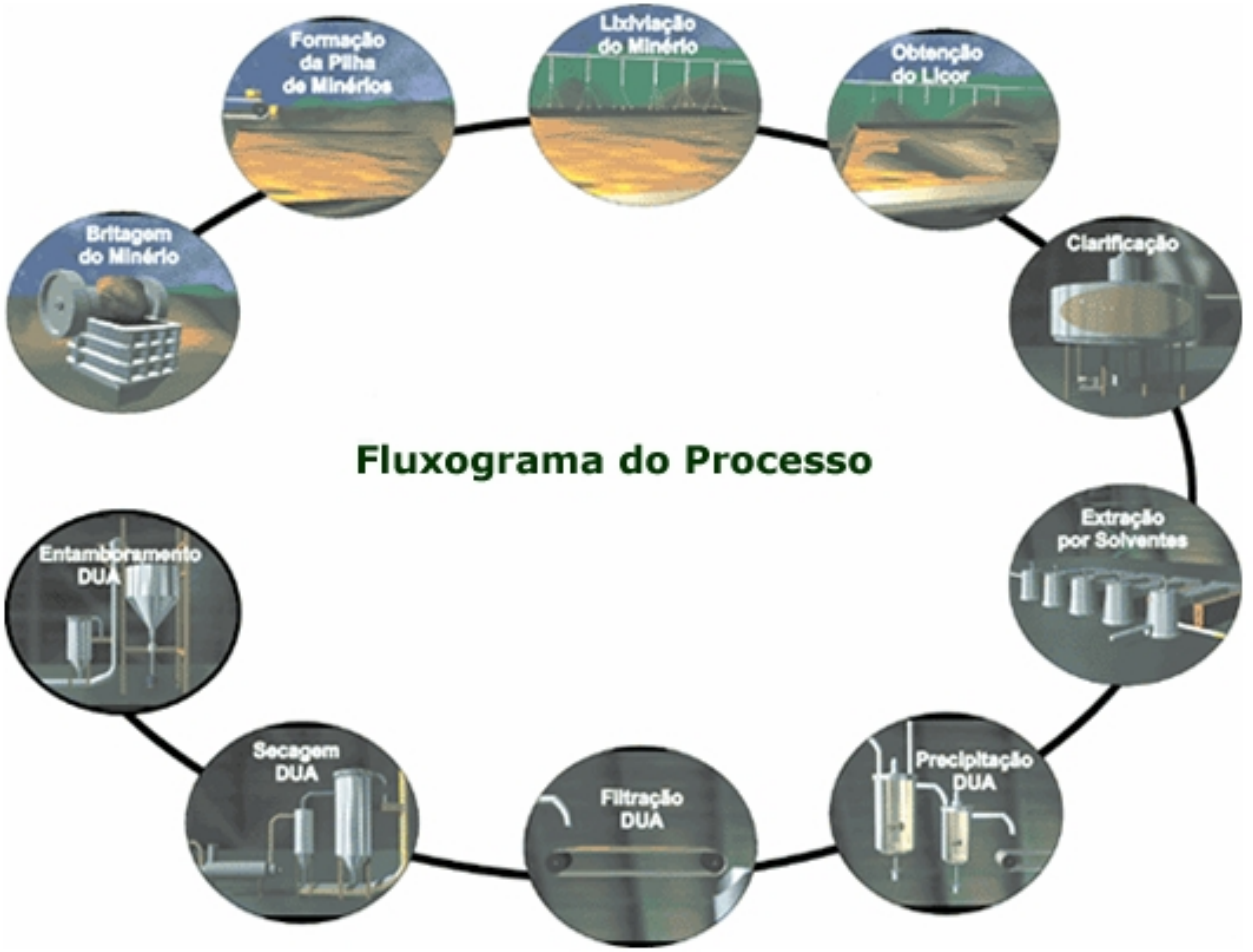
ENRIQUECIMENTO DE ISOTÓPOS

RECONVERSÃO

PRODUÇÃO DE PASTILHAS

GERAÇÃO DE ENERGIA

# MINERAÇÃO E PRODUÇÃO DE CONCENTRADO DE $U_3O_8$



# MINERAÇÃO E PRODUÇÃO DE CONCENTRADO DE $U_3O_8$

Lixiviação ácida

$$6FeSO_4 + NaClO_3 + 3H_2SO_4 \rightarrow 3Fe_2(SO_4)_3 + NaCl + 3H_2O$$

$\downarrow$

agente oxidante

$$UO_2 + Fe_2(SO_4)_3 \rightarrow UO_2SO_4 + 2FeSO_4$$

# MINERAÇÃO E PRODUÇÃO DE CONCENTRADO DE $U_3O_8$

A extração por solvente orgânico pode ser feita por TBP (tributilfosfsto):

$$UO_2^{++} + 2NO_3^- + 2TBP \leftrightarrow UO_2(NO_3)_2 \,.\, 2TBP$$

$$UO_2(NO_3)_2 \,.\, 2TBP + 6H_2O \leftrightarrow 2TBP + UO_2(NO_3)_2 \,.\, 6H_2O$$

$\downarrow$ $\downarrow$

destilada solução orgânica

# MINERAÇÃO E PRODUÇÃO DE CONCENTRADO DE $U_3O_8$

A precipitação é feita por amônia, produzindo diuranato de amônia (DUA):

$$2UO_2SO_4 + 6NH_4OH \rightarrow (NH_4)_2U_2O_7 + 2(NH_4)_2SO_4 + 3H_2O$$

$(NH_4)_2U_2O_7$ ↓ diuranato de amônia ["DUA"]

# MINERAÇÃO E PRODUÇÃO DE CONCENTRADO DE $U_3O_8$

A separação líquidos/ sólidos é feita em filtros à vácuo em tambores, discos ou em correias horizontais.

# MINERAÇÃO E PRODUÇÃO DE CONCENTRADO DE $U_3O_8$

Depois o DUA é calcinado:

$$(NH_4)_2U_2O_7 \xrightarrow{\Delta} 2UO_3 + 2NH_3 + H_2O$$

A redução do trióxido de urânio é feita em atmosfera de $H_2$ à 800°C:

$$UO_3 + H_2 \xrightarrow{\pm\ 800°C} UO_2 + H_2O$$

# MINERAÇÃO E PRODUÇÃO DE CONCENTRADO DE $U_3O_8$

# CONVERSÃO

Na usina de conversão o yellowcake (U3O8) é dissolvido e purificado, obtendo-se urânio nuclearmente puro. Em seguida o urânio puro é convertido para o estado gasoso hexafluoreto de urânio ($UF_6$), para permitir a transformação seguinte: **enriquecimento isotópico**

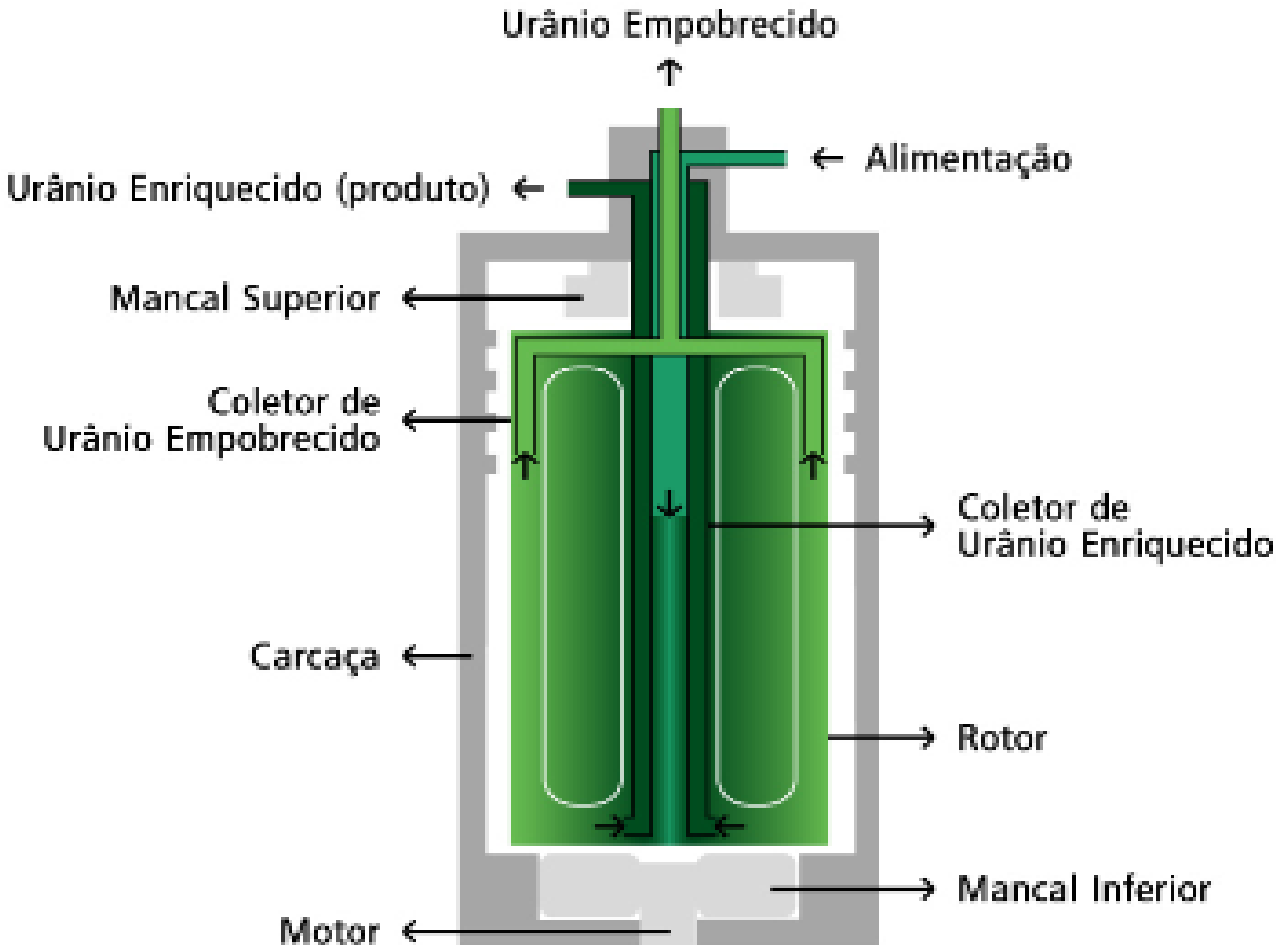
$$UO_2 + 4HF \xrightarrow[450°C]{250°C} UF_4 + 2H_2O$$

solução a 40% em pequeno peso

$$UF_4 + F_2 \rightarrow UF_6$$

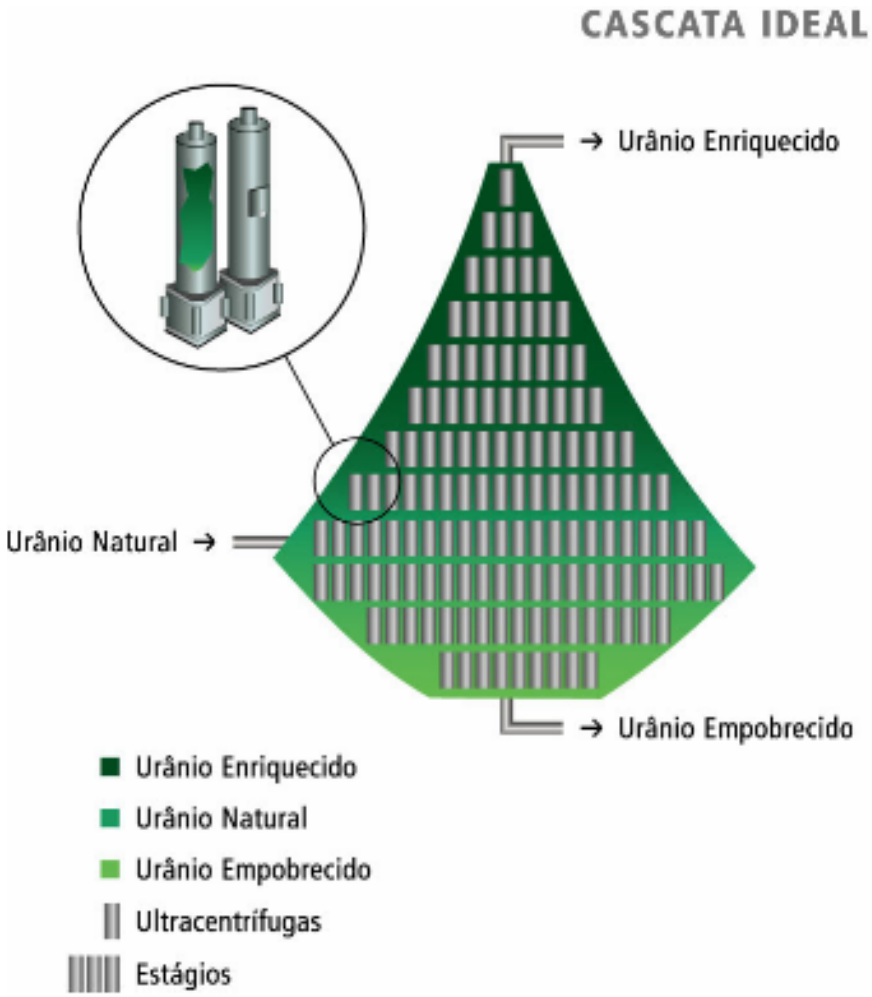
$$T_{eb}\ UF_6 = 56°C$$

# Enriquecimento de Urânio

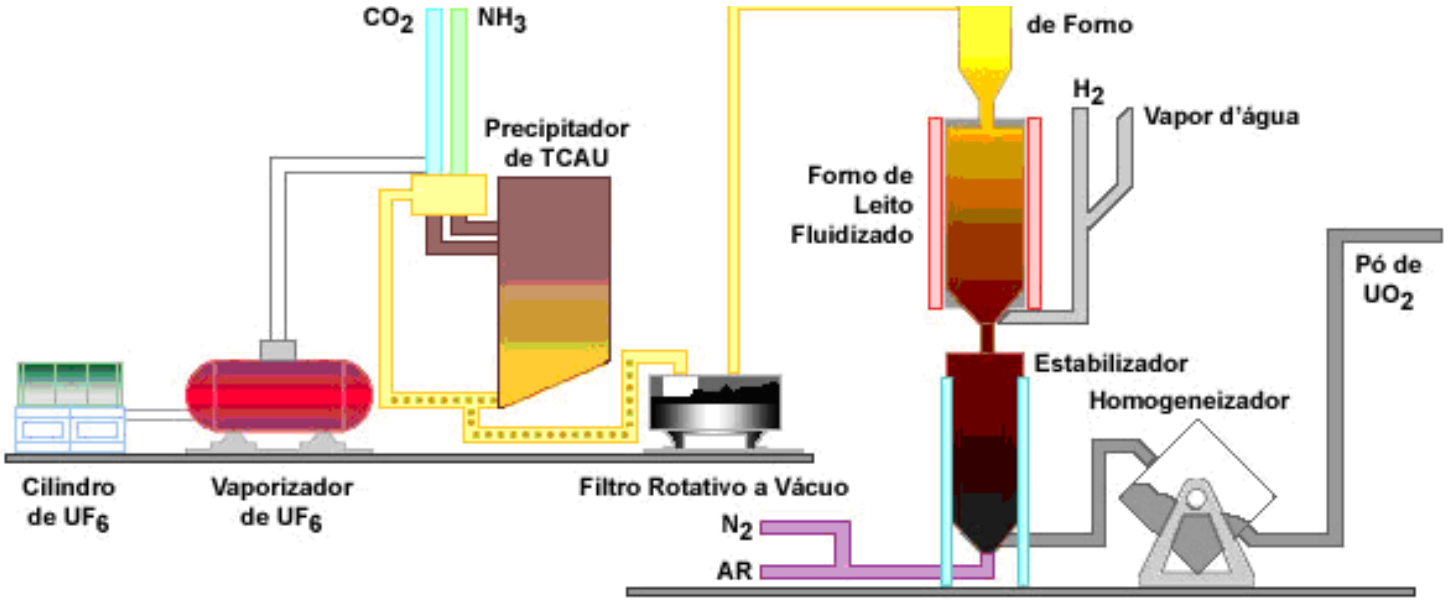



Elemento separador

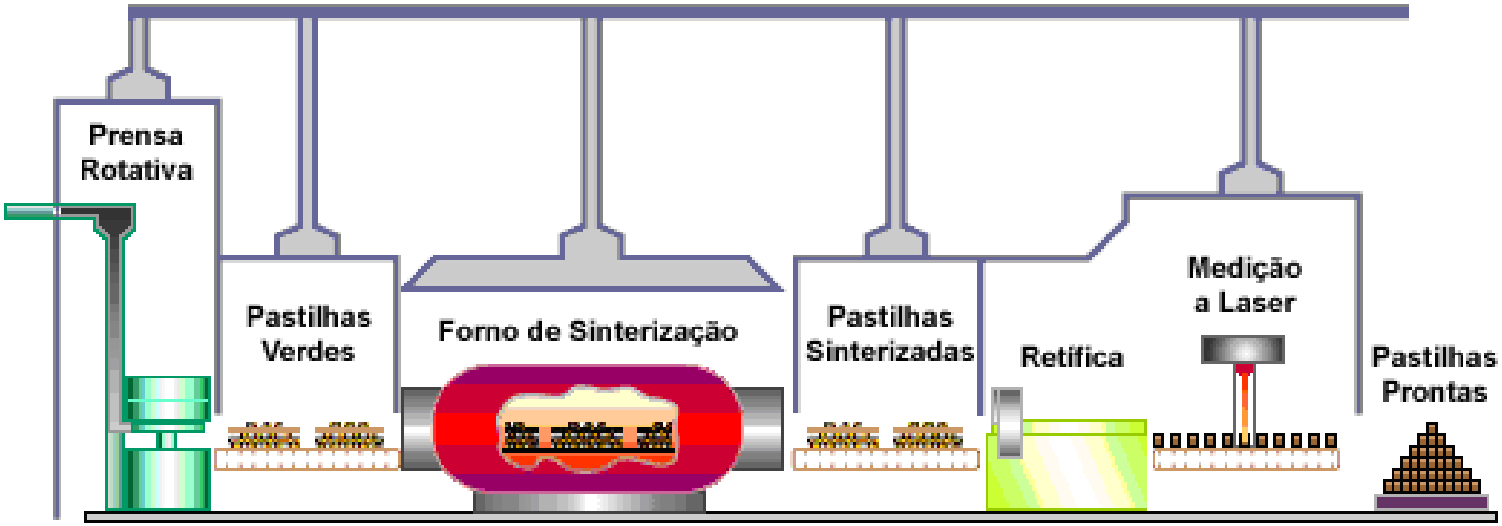
# Enriquecimento de Urânio

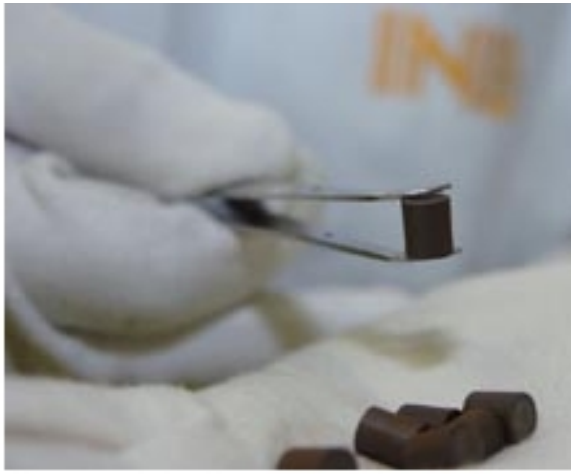


# RECONVERSÃO

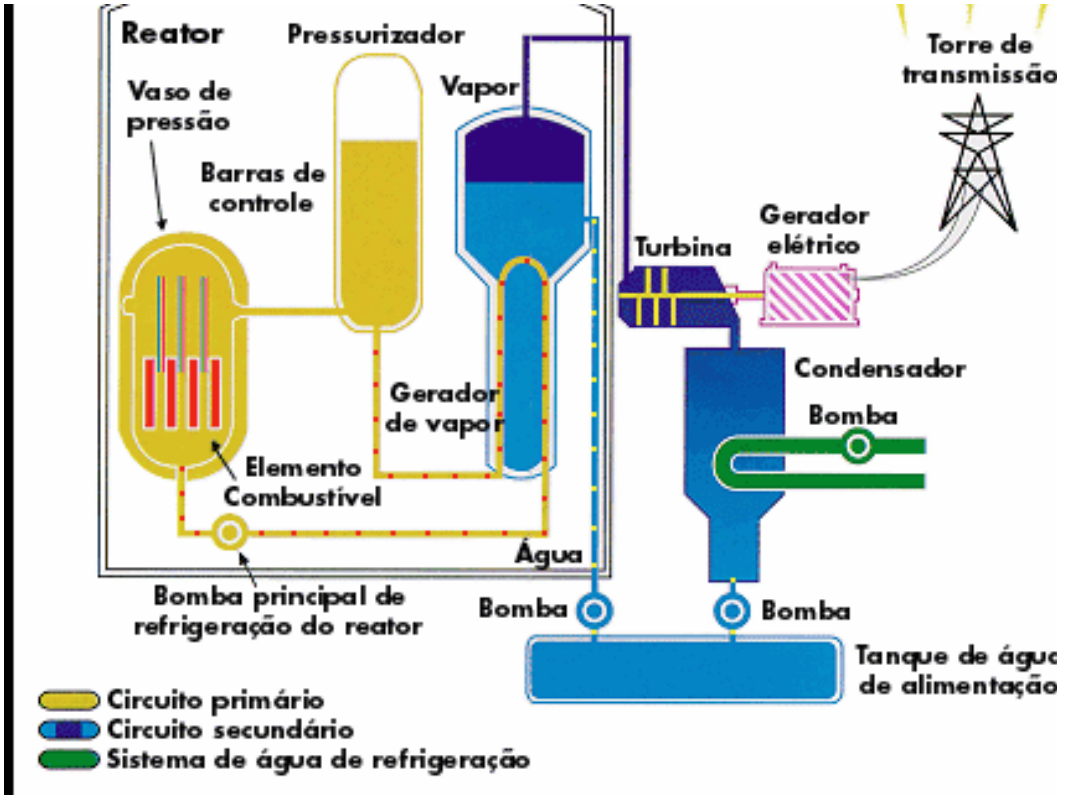


# PRODUÇÃO DE PASTILHAS





# Geração de Energia




A fissão nuclear dos átomos de urânio gera uma grande quantidade de energia que aquece um volume de água, gerando vapor. Esse vapor movimenta uma turbina que transforma energia mecânica em energia elétrica.

# Fissão Nuclear

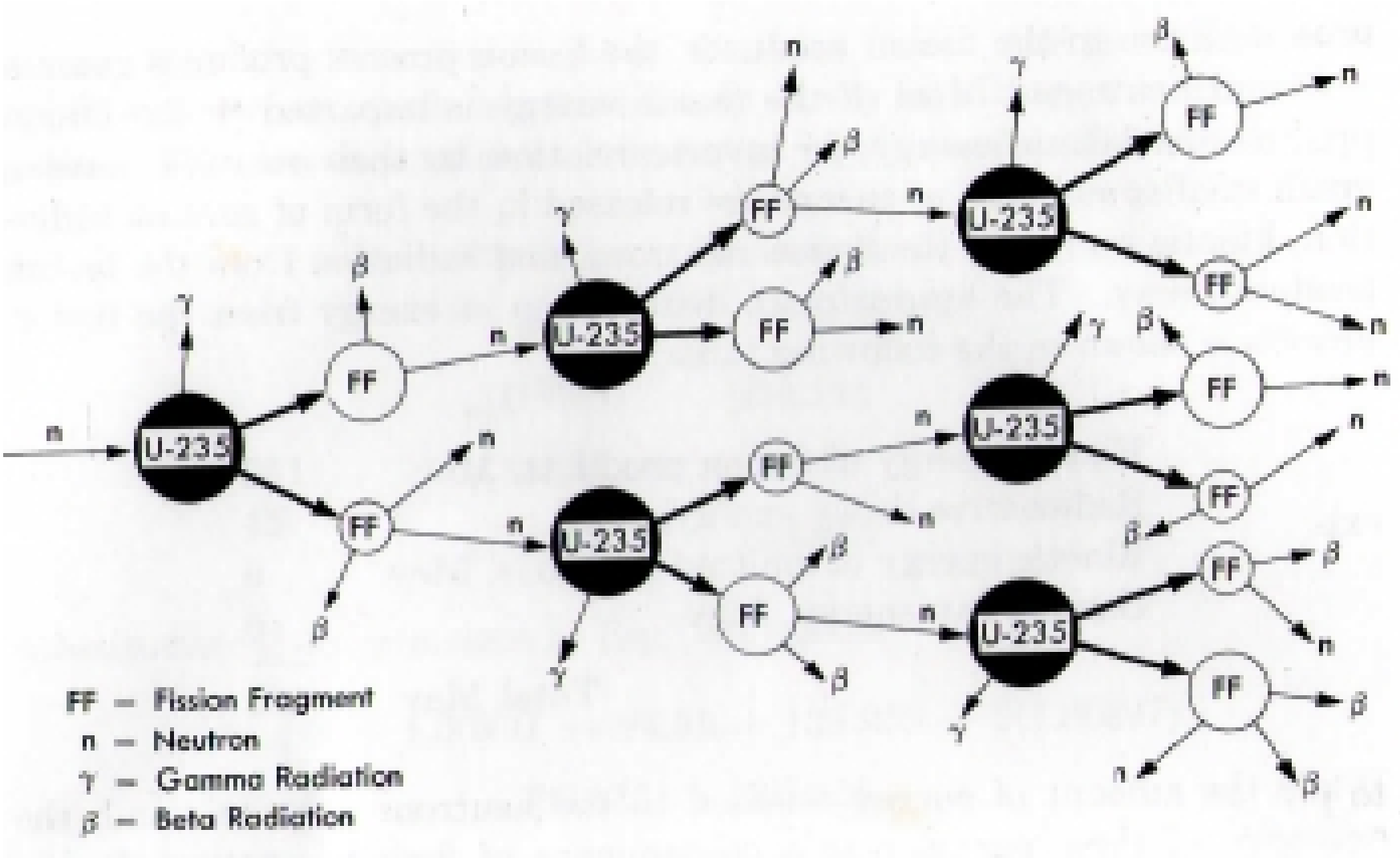
# Energia

$_{92}U^{235} + n \rightarrow {}_{92}^{236} \rightarrow$ nuclídeo 95 + nuclídeo 139 + 2n

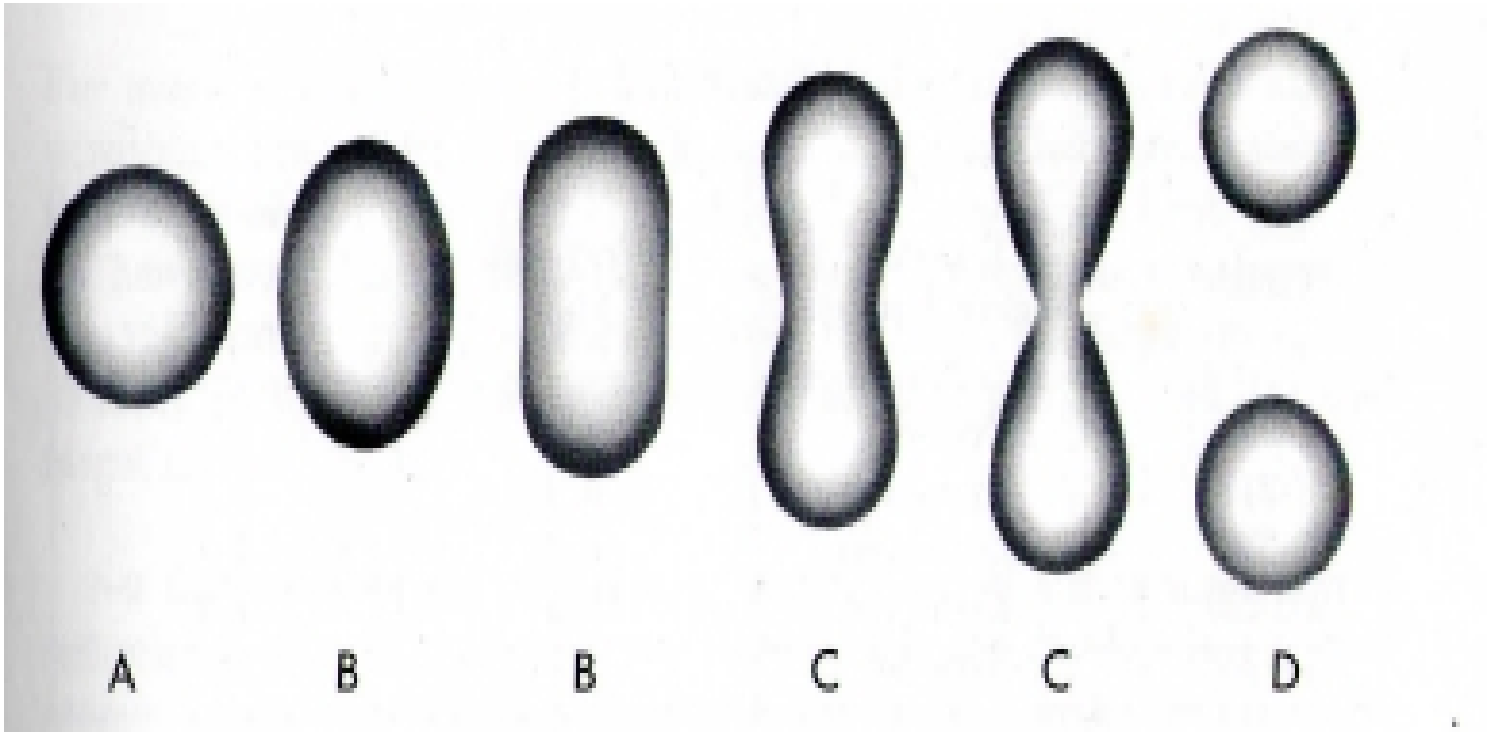
| Reagentes | Massa Atômica |
|---|---|
| n | 1,00897 |
| 92 U295 | 235,12400 |
| Produtos | |
| 2n | 2,01794 |
| 42Mo95 | 94,95000 |
| 57La139 | 138,95500 |
| Reagentes - Produt | 0,210 |

Essa massa que falta corresponde a massa que foi transformada em energia.
Essa energia pode ser calculada por $E = mc^2$ e corresponde a $2,0 \times 10^{10}$ cal/g.
Isso é a fissão 28.571 vezes mais energética que a queima de carvão.

# Reação em cadeia



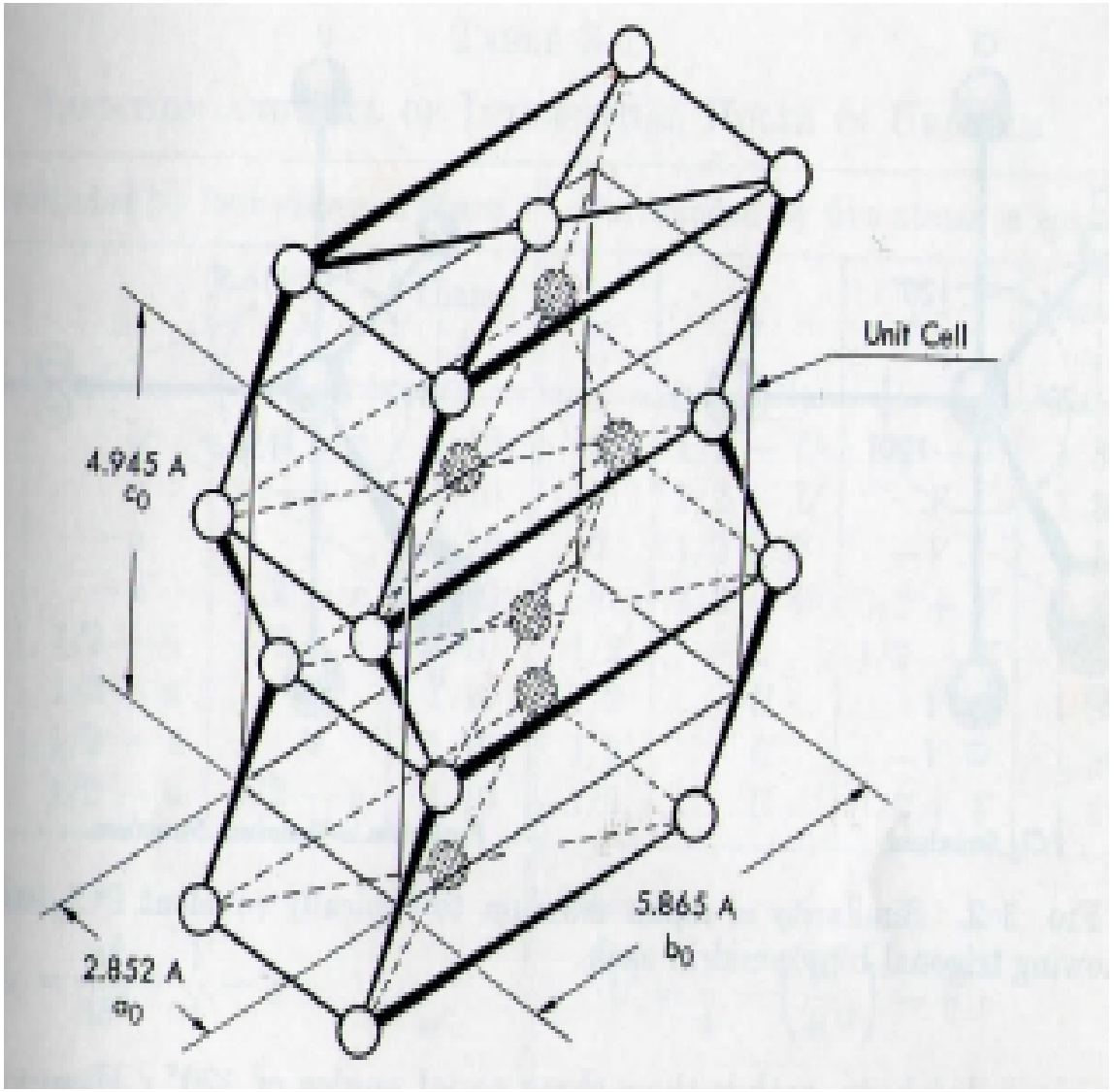
# Reação em Cadeia



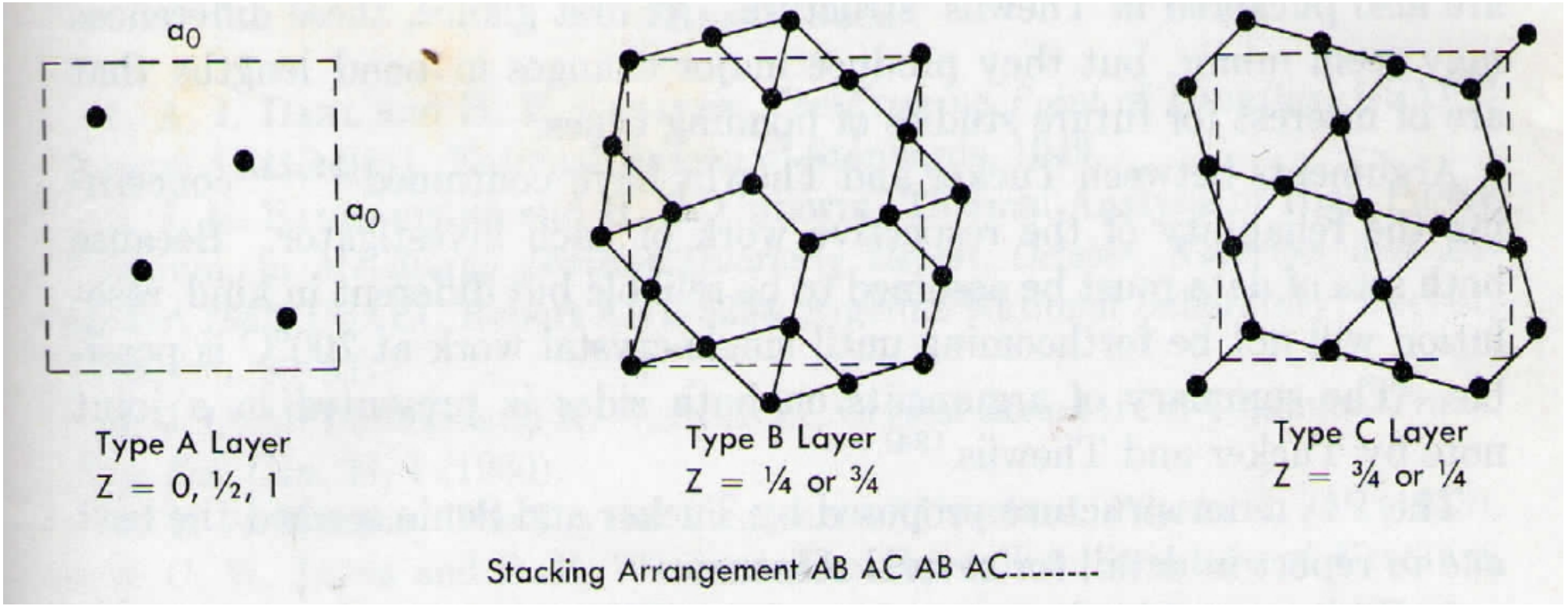

Analogia com uma gota de água

# Cristalografia

# Urânio Alfa

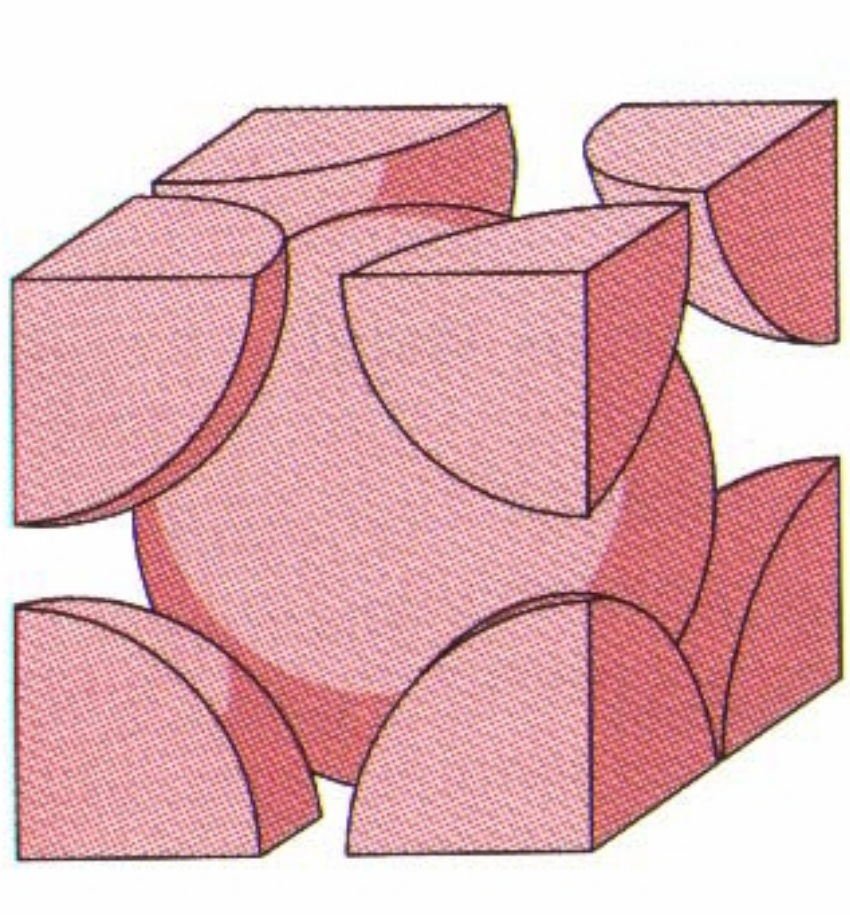


# Urânio Beta




Projeções (001) da estrutura de beta urânio

# Urânio gama



Cúbica de corpo centrado com $a_0$= 3,474A

# Temperaturas de Transformação

$\alpha \rightarrow \beta$, 663°C,
$\beta \rightarrow \gamma$, 770°C,
Ponto de fusão, 1130°C,
Ponto de ebulição, 3700 a 4200°C.

# Bibliografia

1. Holden, A. N. Physical Metallurgy of Uranium. Addison -Wesley Publishing Cmpany, Inc. 1958.

2.Lobo, R. M. Aálise Microestrutural do Zircaloy-4 Submetido a Diferentes Tratamentos Termo-Mecânicos. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares- IPEN. São Paulo, 2002.

3. http://www.inb.gov.br/